

doi:10.3799/dqkx.2012.00

面向数据的 AVO 分析思路

戴小平, 梅廉夫

构造与油气资源教育部重点实验室, 中国地质大学, 湖北武汉 430074

摘要: 国外石油公司在安哥拉深水区寻找古近系和新近系浊积砂岩油藏的勘探实践过程中, 使用 AVO 属性分析进行烃类检测取得了很高的成功率, 但也有一些区块遇到了与传统的 AVO 解释模板不一致的例子. 通过对研究工区地震数据的分析, 利用精细的地震 AVO 正演模拟, 认识了含油砂岩的 AVO 响应特征, 并提出了相应的 AVO 交汇解释思路, 辅助含油气信息的检测.

关键词: AVO 分析; AVO 正演; 交汇解释; 石油地质.

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2012)03-0000-05

收稿日期: 2011-03-25

Data Oriented AVO Analysis

DAI Xiao-ping, MEI Lian-fu

Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: AVO analysis has been successful with many cases in hydrocarbon detection in Tertiary turbidite reservoir in Angola deep water region. But there were some failed drilling cases relying on prospects from AVO study. Therefore, data oriented approach is proposed based on intensive analysis of seismic data, subtle rock physics study and forward modeling in order to improve hydrocarbon detection.

Key words: AVO analysis; AVO forward; cross plot interpretation; petroleum geology.

安哥拉海上某区位于下刚果盆地, 距离海岸约 200 km, 水深 800~1 600 m. 主要目的层为新近系中新统及古近系渐新统浊积砂岩, 储层埋深一般在 1 000~3 000 m 左右 (吕福亮等, 2007).

根据前人研究, 在邻区应用叠前地震资料, 利用振幅随炮检距变化特征 (AVO) 进行烃类储层检测已取得了很好的效果 (Carcione, 2001). 而在研究工区, 钻探证实传统的 AVO 分析方法出现了很大的偏差. 研究认为主要原因是在固结较差的碎屑岩储层形成的高孔隙度条件下, 含油砂岩的 AVO 异常并不完全与传统的 AVO 异常相同, 这也往往意味着一种 AVO 陷阱. 通过对地震数据的统计、分析, 利用精细地震 AVO 正演, 认识了含油砂岩岩石物理特征, 进而分析了其 AVO 特征, 提出要着重分析实际数据, 确定含油砂岩的 AVO 特征并进行油气检测的思路, 提高了油气检测的准确性.

1 AVO 原理

AVO 的理论基础是 Zoeppritz 方程, 但方程复杂, 难以清楚表达反射 (透射) 系数与入射角之间的关系, 因此出现了其简化方程. Shuey (1985) 将其进行了简化为式 (1):

$$R(\theta) = R_0 + [A_0 R_0 + \frac{\Delta\sigma}{(1-\sigma)^2}] \sin^2\theta + \frac{\Delta V_p}{2V_p} (\tan^2\theta - \sin^2\theta). \quad (1)$$

在入射角小于 30° 的前提下可以进一步简化为:

$$R \approx P + G \sin^2\theta, \quad (2)$$

式中: R 为反射系数, P 为截距分量, G 为梯度分量, θ 为入射角.

研究表明, 对于低波阻抗 (含油) 储层对应第 3

基金项目:

作者简介: 戴小平 (1978-), 男, 博士, 从事. E-mail: daixiaoping2012@126.com

类 AVO, 对应 P、G 在交汇图上分布在第三象限, 远离原点的某个范围(Castagna *et al.*, 1998).

2 浊积砂岩储集层岩石物理特征

岩石物理分析表明, 中新统浊积砂岩油层和水层的岩石物理响应差异明显. 相对含水砂岩和泥岩而言, 含油砂岩表现为低速度, 低波阻抗的特点, 平均速度为 1 820 m/s, 平均波阻抗 3 600 mg/s. cc; 含水砂岩表现为相对高速度、高波阻抗的特点, 平均速度为 2 220 m/s, 平均波阻抗在 4 200 mg/s. cc 以上; 含油砂岩和含水砂岩具有相似的高孔隙度的特点,

其数值范围主要集中在 20%~35%之间.

根据实验室测定, 地下原油密度 0.84 g/cc, 地层水密度 1.08 g/cc.

为了研究 AVO 属性的变化规律, 对目标油层的测井数据进行了流体替换研究(图 1). 其中蓝色曲线为流体替换后的曲线, 绿色的是原始测井曲线. 在本工区储层孔隙度为 20%~35%, 渗透性非常好, 油层测井解释的含油饱和度达到 80%以上, 因此流体替换研究着重进行了 100%含油和 100%含水 2 种状态的研究.

由于水的速度和密度均大于原油的, 经过流体替换后, 储层(含水)纵波速度和密度比原始测井得

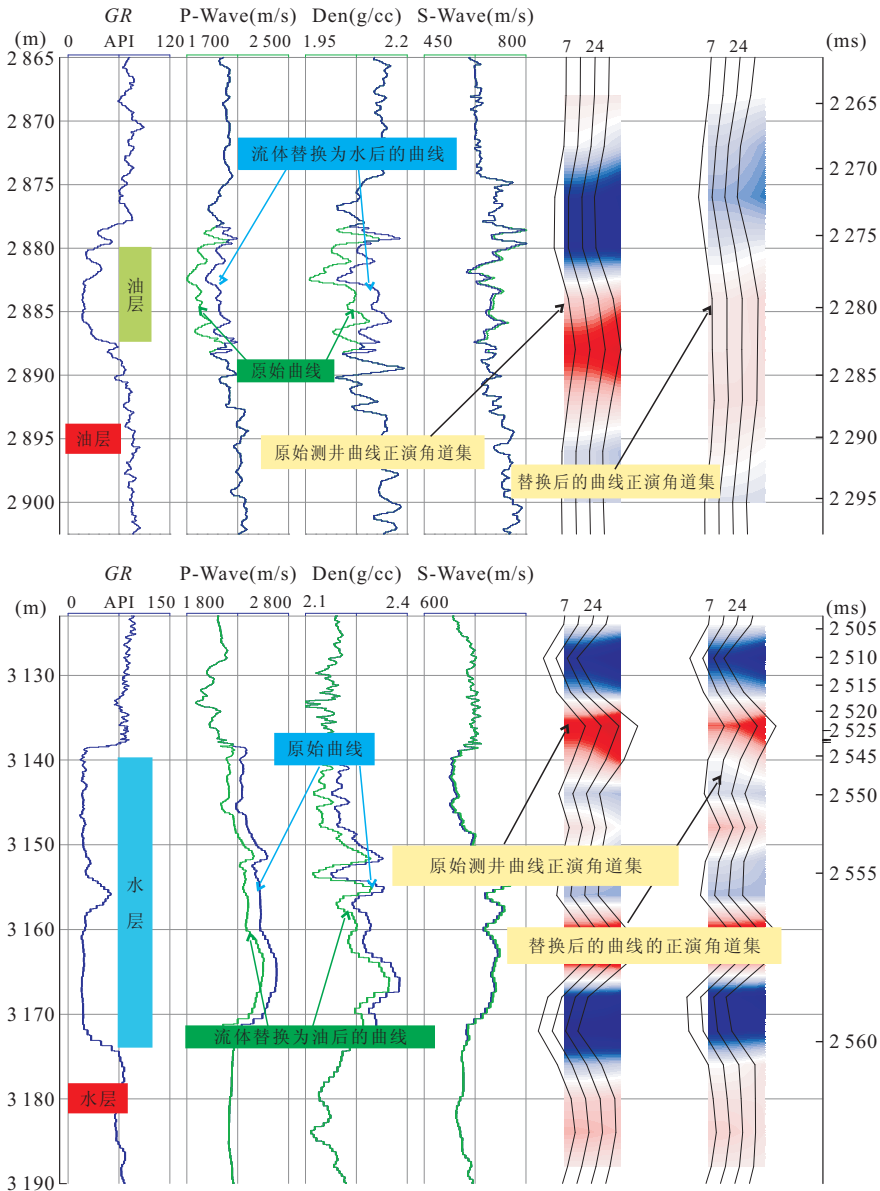


图 1 不同层段流体替换后的纵波、横波速度、密度及正演角道集

Fig. 1 P & S wave velocity, density and forward angle gathers of fluid replacement in different layers

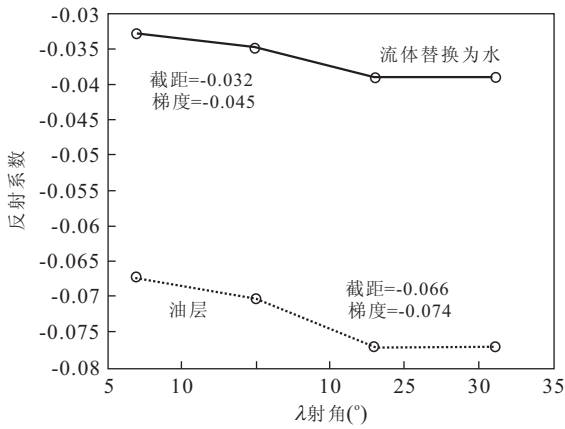


图 2 流体替换前后振幅随偏移距的变化曲线
 Fig. 2 Amplitude changes with offset curve of before and after fluid replacement

到的结果显著增大,而横波速度只有微小的变化(图 1).

为了建立准确的 AVO 属性交汇解释模板,对油层流体替换前后的测井数据进行了 AVO 正演,得到了角道集地震数据. 油层顶面对应的振幅变化(图 2),流体替换前(虚线)和流体替换后(实线)随着偏移距(入射角)的增加振幅均呈现增强的趋势,表现为负振幅的减小,为典型的 3 类 AVO 特征. 流体替换以后,储层和围岩的波阻抗差异减小,导致地震反射波的能量减小,地震波振幅减小.

3 叠前地震数据的分析

AVO 属性分析是基于叠前地震角道集数据的

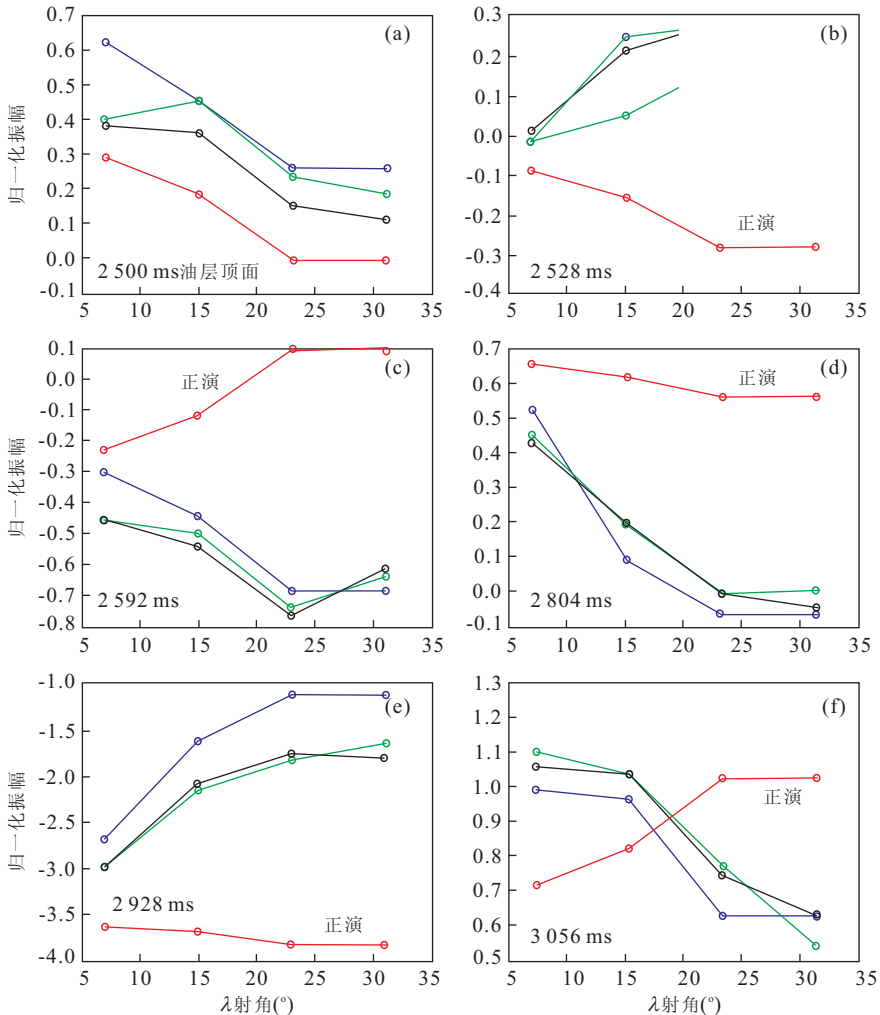


图 3 振幅随入射角的变化曲线

Fig. 3 Amplitude changes with the angle of incidence curve

图中蓝色曲线是原始角道集的振幅曲线,红色曲线是 AVO 正演产生的模型数据的振幅曲线,绿色是经过剩余时差校正的角道集的振幅曲线,黑色曲线为超道集角道集的振幅曲线

研究,地震数据的质量及固有特征会直接影响 AVO 分析的方法及结果. 为了提高地震角道集的质量,先进行了道集剩余时差校正,目的在于消除由于动校正拉伸,各向异性,速度精确程度等方面因素产生的道集上同相轴不平. 同时也进行了超道集处理,纵横向均为 3 道,“十”字形,从而进一步提高信噪比.

4 种数据的振幅曲线显示,原始地震数据和正演合成地震数据在油层顶面的 AVO 属性一致性较好,均表现为随着偏移距的增加而减小(图 3a,3b). 超道集和道集拉平处理对 AVO 属性有一定影响,但影响较小. 在油层顶面,地震响应和理论计算是一致的.

油层内部以及下伏地层的地震数据分析(图 3c~3f)显示并非所有实际观测的地震数据和理论计算一致. 因此不能用常规的 AVO 解释模板来进行油气检测.

既然部分数据的 AVO 特征和理论一致,哪些实际数据和理论一致? 能否建立一个新的模板来针对这个数据进行 AVO 分析呢?

选取从油层顶面到下伏泥岩的一段地震数据,分别计算其梯度和截距. 然后用理论计算的截距和实际数据的截距进行交汇(图 4a),两者数据分布近似直线,说明其一致性非常好. 同样地,显示梯度交汇(图 4b),两者没有明显的线性关系. 因此,理论的 AVO 解释模板不适用于该数据的 AVO 油气检测. 主要表现在地震数据的 AVO 梯度与理论计算不一致.

提取振幅大于 1/3 最大振幅的部分数据点,分析表明强振幅数据的 AVO 梯度和理论数据的线性关系较好,但其关系为负数斜率. 非常明显,这是地震资料获取及处理过程中产生的. 其原因是一个研究课题. Castagna (2001)列出了一系列影响因素. 幸运的是这个关系存在了. 它可以用来校正理论解释图板,校正后的图版如图 5.

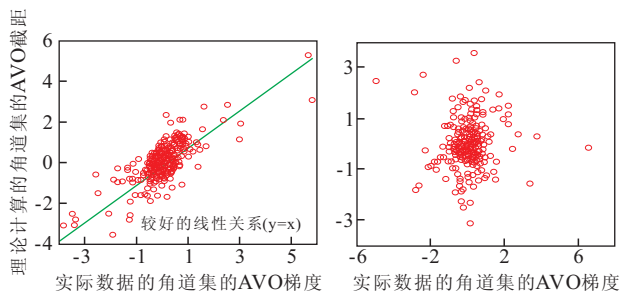


图 4 AVO 梯度、截距的分析

Fig. 4 AV0 gradient and intercept analysis

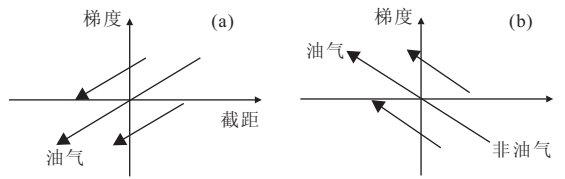


图 5 AV0 解释模板

Fig. 5 AV0 interpretation template

a. 理论三类 AV0 解释模板; b. 实际数据的解释模板

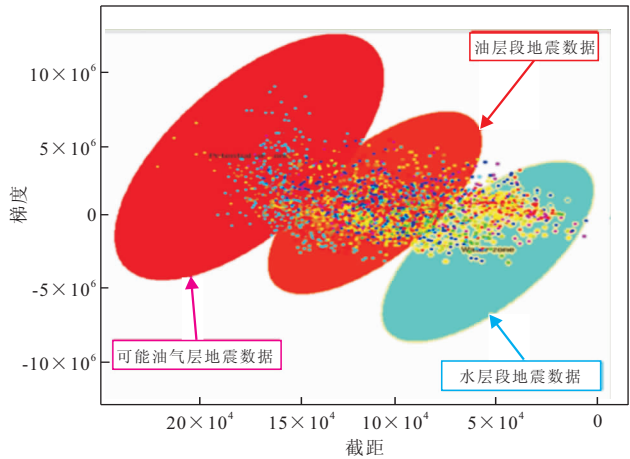


图 6 实际数据的交汇解释模板

Fig. 6 Interpretation intersection template of real data

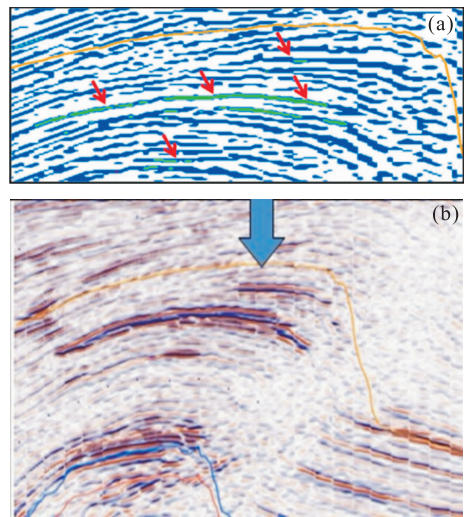


图 7 有利目标的 AV0 异常剖面(a)和构造预测(b)

Fig. 7 AV0 anomaly profile (a) and structure prediction (b) of favorable target

基于强振幅数据负相关梯度的 AV0 解释模板如图 5b. 图 5a 为理论 3 类 AV0 异常的分布(Castagna and Swan, 1997).

提取对应油层段、水层段的实际道集的 AV0 截距和梯度进行交汇,并把含油气信息投影到交汇

图上,得到交汇解释模板(图6)。图中油层及水层数据范围是直接从测井解释成果投影而来的,“可能的油气层”的数据范围无法直接与测井解释成果一一对应,是根据图5中的解释模型中的趋势推断而来。

4 油气检测

根据解释模板对工区内 AVO 梯度和截距解释综合解释,得到油气指示数据体。图7是经过预测的有利目标的油气指示剖面,绿色异常体指示了预测的油气分布。该 AVO 预测成果和构造预测成果一致性非常好,是该工区值得进一步探索的油气检测思路。

5 结论

本文通过对测井数据、地震数据的分析,利用地震 AVO 正演模拟,探索了该地震数据 AVO 交汇解释方法,为该地区油气检测提供了一种思路。AVO 研究多解性强,需更从岩石物理、正演分析等方面,去伪存真,综合提高利用地震 AVO 属性检测烃类储层的准确性。

本文引用了恒泰艾普公司的研究成果并且得到他们的帮助,在此表示深切的感谢。

References

- Carcione, J. M., 2001. Amplitude variations with offset of pressure-seal reflections. *Geophysics*, 66(1): 283–293.
- Castagna, J. P., 2001. AVO analysis. *Recorder*, 26(6).
- Castagna, J. P., Swan, H. W., 1997. Principles of AVO crossplotting. *The Leading Edge*, 16: 337. doi: 10.1190/1.1437626
- Castagna, J. P., Swan, H. W., Foster, D. J., 1998. Framework for AVO gradient and intercept interpretation. *Geophysics*, 63(3): 948–956.
- Lv, F. L., He, X. Y., Wu, J. Y., et al., 2007. Girassol deep-water oil field in lower Congo basin, Angola. *Marine Origin Petroleum Geology*, 1(12): 41–46 (in Chinese with English abstract).
- Shuey, R. T., 1985. A simplification of the Zoeppritz equations. *Geophysics*, 50(4): 609–614.

附中文参考文献

- 吕福亮, 贺训云, 武金云, 等, 2007. 安哥拉下刚果盆地吉拉索尔深水油田. *海相油气地质*, 1(12): 41–46.